

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки: «Биотехнические системы и технологии»
Кафедра промышленной и медицинской электроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Визуализация объектов и потоков с использованием фазированных решеток	

УДК 537.226.8:681.586.7:532.542

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д21	Пожидаева Ирина Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	А.И. Солдатов	д.т.н., проф.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	А.Г. Данков	к. и. н., доц.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	М.Э. Гусельников	к.т.н., доц.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Губарев Ф.А.	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП по направлению 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

Код рез.	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте биомедицинской и экологической техники	Требования ФГОС (ОПК1, ОПК2) *, Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей	Требования ФГОС (ОПК3, ОК4, ОК5), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений	Требования ФГОС (ОПК7, ОПК9, ПК6). Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений	Требования ФГОС (ОПК4, ОПК6, ПК7), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов	Требования ФГОС (ОПК5, ПК1, ПК2, ПК3). Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК8, ОПК10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Универсальные компетенции		
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК3, ОК4). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена	Требования ФГОС (ОК6), Критерий 5

* Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 12.03.04 – Биотехнические системы и технологии), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ от 15.03.2015г.

	команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач	АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК1, ОК2), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности	Требования ФГОС (ОК9,ПК8), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК7, ОК8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки: «Биотехнические системы и технологии»
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. Кафедрой Губарев Ф.А.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1Д21	Пожидаевой Ирине Андреевне

Тема работы:

Визуализация объектов и потоков с использованием фазированных решеток	
Утверждена приказом директора ИНК	№ 2784/с от 11.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Разработка фазированной решетки на пьезоэлектрических преобразователях, являющаяся основой конструкции для визуализации объектов и потоков. Решетка матричная, квадратная, необходимое количество пьезопреобразователей - 25 штук. Режим работы - импульсный. Условия эксплуатации – рабочее помещение. Основные элементы решетки: пьезоэлектрические дисковые преобразователи из пьезокерамики ЦТБ-19; толщина 0,8мм, диаметр 6мм. Рабочая частота преобразователя 500 кГц.
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Обзор литературы Объект и методика исследования Расчеты и аналитика Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	схема электрическая принципиальная для визуализации потоков жидкости; перечень элементов.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	А.Г. Данков, доцент, ТПУ
<i>Социальная ответственность</i>	М.Э. Гусельников, доцент, ТПУ
<i>Консультант по теме работы от НПП «Метромед», руководитель по производственной практике</i>	В.В. Педдер, генеральный директор НПП «Метромед», к.т.н., заслуженный изобретатель РФ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
-	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Солдатов А.И.	д.т.н., проф.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д21	Пожидаева Ирина Андреевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Д21	Пожидаева Ирина Андреевна

Институт	ИНК	Кафедра	Промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Биотехнические системы и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Рабочее место расположено в производственной лаборатории. Исследуются условия для деятельности работника по сборке конструкции, и в частности при пайке электронной схемы.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	Анализ возможных вредных факторов: – недостаток освещения на рабочем месте; – выделение вредных веществ; – электробезопасность.
2. Экологическая безопасность:	Экологическая безопасность: – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы паров канифоли и свинца); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные чрезвычайные ситуации на объекте: – пожар; – затопление (прорыв труб водяного отопления); – обрушение конструкций.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – компоновка рабочей зоны; – режимы труда и отдыха. Изучение: – «Трудовой кодекс РФ» – «Конституция РФ»

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	М.Э. Гусельников	к.т.н., доц.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д21	Пожидаева Ирина Андреевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Д21	Пожидаева Ирина Андреевна

Институт	неразрушающего контроля	Кафедра	промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Биотехнические системы и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях, нормативно-правовых документах;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований.	1. Структура работ в рамках научного исследования. 2. Определение трудоемкости выполнения работ. 3. Разработка графика проведения научного исследования. 4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Матрица SWOT 2. Альтернативы проведения НИ 3. График проведения и бюджет НИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.Г. Данков	К. И. Н., доц.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д21	Пожидаева Ирина Андреевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 78 с., 13 рис., 22 табл., 21 источник, 2 прил..

Ключевые слова: визуализация, фазированная решетка, пьезодатчик, пьезоэлектрический преобразователь, гидродинамические потоки.

Объектом исследования является возможность визуализации потоков жидкости с помощью определенной конструкции, а также, в частности, электронная часть разрабатываемого устройства.

Цель работы – разработка конструкции фазированной решетки и разработка блока формирования и приема сигнала.

В процессе исследования проводился обзор литературы по известным методам визуализации объектов и потоков, а также по конструкции, материалам, особенностям пьезоэлектрических преобразователей. Произведено сравнение различных способов осуществления поставленной цели, выбор структуры блока формирования и приема сигнала, подобраны элементы для схемы, удовлетворяющие необходимым требованиям.

В результате исследования была разработана и рассчитана принципиальная электрическая схема визуализации потоков жидкости, состоящая из двадцати пяти блоков формирования и приема сигналов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: фазированная решетка матричного типа, рабочая частота пьезопреобразователя 500 кГц, количество пьезоэлементов 25.

Степень внедрения: научно-исследовательская работа.

Область применения: визуализация объектов и потоков жидкости в биоинженерии, диагностика кровотока в медицине, путем его визуализации.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в возможности визуализации невидимых глазом потоков жидкости.

В будущем планируется выполнение макета конструкции, сбор принципиальной электрической схемы устройства.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе используются следующие термины, имеющие соответствующие определения:

Ультразвук: механические колебания, распространяющиеся в упругой среде, под действием возбуждающего воздействия, частота колебаний находится в пределах от 16-18 кГц до 10^9 Гц.

Пьезоэлектрический эффект: эффект возникновения электрического тока под действием механических напряжений, а именно давления, (прямой пьезоэлектрический эффект) или, наоборот, возникновение механических деформаций под действием электрического поля.

Пьезоэлектрический преобразователь: устройство, использующее пьезоэлектрический эффект и преобразующие механическую энергию в электрическую и наоборот.

Пьезоэлемент: электромеханический преобразователь, изготавливаемый из пьезоэлектрических материалов, определенной формы и ориентации относительно кристаллографических осей.

Пьезокерамика: искусственный материал, обладающий пьезоэлектрическими и сегнетоэлектрическими свойствами, имеющий поликристаллическую структуру.

В данной работе используются ссылки на следующие нормативные документы:

1. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
3. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимы концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
4. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.
5. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

Оглавление

Введение	11
1. Обзор литературы	
1.1 Известные методы визуализации потоков жидкости и их сравнение.....	14
1.2 Обоснование возможности визуализации потоков жидкости с использованием фазированной решетки.....	20
1.3 УЗ-преобразователь	
1.3.1 Структура УЗ-преобразователя.....	28
1.3.2 Материалы и свойства пьезоэлектрических элементов.....	30
1.4 Выбор материала для стенок конструкции.....	33
2. Объект и методы исследования.....	34
3. Расчет и аналитика	
3.1 Разработка макета конструкции	36
3.2 Разработка структурной схемы..	36
3.3 Расчет и обоснование принципиальной схемы.....	38
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	45
5. Социальная ответственность.....	65
Заключение.....	73
Список используемых источников.....	74
Приложение А. ФЮРА.941217. 027.ПЭ	77
Приложение Б. ФЮРА.941217. 027.....	78

Введение

Современные технические достижения позволяют визуализировать объекты и биообъекты в различных средах: жидкостях и газах.

Для целей биоинженерии, реализующей разработку актуальных проблем здравоохранения, важно визуализировать течения в жидкостях или газах, возникающих под действием внешних источников, инициируемых различными физическими факторами (ультразвук, лазерное излучение, магнитные и электрические поля и пр.).

В потоках жидкостей и газов обычно визуализируют поля скоростей, давления и температуры. В итоге такая визуализация называется спектром потока.

Визуализация течений при помощи разнообразных методов и средств используется для установления качественных их характеристик: наблюдение спектра потока, линий тока, областей отрыва пограничного слоя, вихрей и скачков уплотнения, состояния потока (ламинарное или турбулентное, стационарное или нестационарное и пр.). Визуализация течений возможна как неоптическими, так и оптическими методами.

К неоптической (непосредственной) визуализации потоков газа и жидкостей относятся: метод введения в поток струек дыма (для газа) или окрашенной жидкости (для гидродинамических потоков), метод трассирующих частиц, метод нитей- «шелковинок», метод нанесения на поверхность обтекаемого тела капель или плёнок специфической жидкости (окрашенной, с твёрдыми примесями или флюоресцирующей), использование тонкой световой плоскости для подсветки частиц и пр. [1, 2].

Оптические методы позволяют визуализировать потоки с помощью оптических приборов и установок. Данные методы обеспечивают визуализацию неоднородных потоков газа и жидкости, качественный анализ состояния и структуры потока, бесконтактное и безынерционное измерение одновременно в пределах всего визуализируемого участка течения плотности потока.

Существуют теневые, прямотеневые и интерференционные методы исследования. Появление голографии и лазеров существенно расширяют возможности интерферометрии. Например, теневой метод Теплера, позволяющий получить мгновенную картину звукового поля теневым методом [3, с. 59].

Для гидродинамических потоков повсеместно используют бесконтактные методы измерения секторного поля скорости, основанные на цифровой

видеозаписи траекторий частиц, визуализирующих исследуемый поток, с последующим компьютерным анализом полученных изображений. Также, широко используют ультразвуковые (УЗ) методы, например, в медицине для изучения потоков крови.

В настоящее время ультразвук различных частотных диапазонов успешно применяется в ряде областей медицины для целей терапии и хирургии (ультразвук низкочастотного диапазона – 18-200 кГц и среднечастотного диапазона – 200-880 кГц), а также в диагностике различных заболеваний (ультразвук высокочастотного диапазона – 10^3 - 10^6 кГц).

Учитывая широкое использование высокочастотного ультразвука для целей диагностики, например, состояния кровеносной системы, позволяющей визуализировать гидродинамику кровотока, нами было обращено внимание на возможность использования ультразвука для визуализации гидродинамических потоков, возникающих, например, при обработке инфицированных ран, реализуемой с помощью энергии низкочастотного ультразвука.

Известно несколько УЗ-методов визуализации потоков жидкости, описанных ниже в следующем разделе настоящей работы.

В основе визуализации потоков жидкости, инициируемых различными физическими факторами, представляющим интерес для нашей работы, являются методы, в которых используются основные параметры звукового поля: звуковое давление, колебательное смещение частиц, переменная плотность среды. Для визуализации поля, например, бегущей волны, необходимо иметь набор (мозаику) приемников, быстро переключаемых с помощью электронного устройства. Возможно искусственное создание поля стоячих волн, путем обеспечения интерференции исследуемого поля с некоторой опорной акустической волной или электрическим сигналом той же частоты [3, с. 57-58].

Часто для этих целей используют устройства УЗ-визуализации с применением фазированных решеток, позволяющих оценить скорость, интенсивность гидродинамических потоков, проанализировать распределение потоков в пространстве и наблюдение изменения потоков во времени.

Целью данной работы является разработка конструкции фазированной решетки и разработка блока формирования и приема сигнала.

Также в работе приведено обоснование возможности визуализации потоков в ограниченном объеме жидкости, возникающих под действием энергии низкочастотного ультразвука, частотой 26,5 кГц, с применением анализатора потоков в виде устройства на основе использования фазированных

решеток. Работа является развитием комплекса НИОКР Научно-производственного предприятия «Метромед» (генеральный директор, заслуженный изобретатель РФ Педдер В.В.) г. Омск, осуществляемых совместно с кафедрами Промышленной и медицинской электроники ТПУ (профессор Солдатов А.И.) и кафедрой кибернетики СибГМУ (профессор Пеккер Я.С.) для разработки метода УЗ-визуализации потоков лекарственных растворов в объеме раневой полости, инициируемых низкочастотным ультразвуком в процессе УЗ-обработки инфицированной раны.

Для реализации вышеуказанной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Разработать макет устройства для УЗ - визуализации потоков жидкости, инициируемых колеблющимся с УЗ частотой волноводом-инструментом;
2. Разработать структурную, а затем электрическую принципиальную, схемы управления фазированной решеткой.
3. Рассчитать и подобрать элементы для электрической схемы.

1 Обзор литературы

1.1 Известные методы визуализации потоков жидкости и их сравнение

Как было указано выше, визуализация потоков жидкости возможна как неоптическими, так и оптическими методами. Неоптические методы представляют собой непосредственную визуализацию без применения оптических устройств, а оптические методы обеспечивают визуализацию с помощью оптических устройств.

Рассмотрим неоптические методы визуализации потоков жидкости [1,2].

Метод подкрашенных струек основан на введении в гидродинамический поток подкрашенной жидкости с плотностью, близкой к плотности исследуемой жидкости, через насадки, установленные перед моделью, или через отверстия в модели. Метод позволяет визуализировать линии тока.

Метод трассирующих частиц, заключается во введении в поток жидкости пузырьков водорода, образующихся при электролизе воды; для визуализации течения на поверхности воды в бассейне или гидроканале используются алюминиевая пудра, пластмассовые шарики и т. д. Метод позволяет визуализировать области отрыва и вихри.

Метод нитей («шелковинок»), при котором нити (пучки нитей) прикрепляют к поверхности тела или к сетке, установленной в потоке, позволяет по изменению направления ориентации нитей определить спектр потока, наличие области отрыва пограничного слоя и её границы (при нестационарном течении нити колеблются).

Метод капель заключается в нанесении перед опытом на поверхность тела специальной жидкости в виде капель (точек), которые затем размываются потоком. Метод позволяет не только визуализировать предельные линии тока, но и получить представление о распределении напряжения трения по поверхности тела.

В методе жидкой плёнки визуализирующая жидкость равномерно наносится перед опытом на поверхность исследуемого тела: при отрывном течении плёнка утолщается у линии отрыва пограничного слоя и утончается у линии присоединения потока. Использование флюоресцирующей жидкости улучшает качество визуализации течений. Добавление в жидкость твёрдых примесей (сажи, масла) позволяет визуализировать предельные линии тока.

Метод каолинового покрытия основан на изменении скорости испарения жидкости при переходе ламинарного течения в турбулентное, на поверхность модели наносится каолиновое покрытие, которое перед каждым опытом пропитывается жидкостью, изменяющей цвет покрытия. Используется для визуализации области перехода. Для этой же цели может применяться метод термоиндикаторных покрытий.

Метод «паровой экран» («лазерный нож») основан на использовании тонкой световой плоскости для подсветки частиц, внесённых в жидкость в определённом срезе потока. Световая плоскость пересекает поток перпендикулярно вектору скорости или в другом выбранном направлении. Вследствие рассеяния света частицами получается изображение потока, которое регистрируется фото- или киноаппаратом. Поскольку концентрация частиц зависит от структуры потока, метод позволяет визуализировать скачки уплотнения, области отрыва и вихри. Метод эффективен при исследовании пространственных течений, когда оптические методы недостаточно эффективны.

В настоящее время также существует множество различных оптических методов, в основе которых лежит визуализация течений при помощи оптических приборов и установок.

Оптические методы обеспечивают бесконтактное измерение потоков. Методы, в основе которых лежит принцип просвечивания пучком световых лучей от внешнего источника исследуемой области потока, подразделяются на теневые, прямотеневые и интерференционные методы [1].

Теневой метод исследования - метод обнаружения оптических неоднородностей в прозрачных преломляющих средах. Посредством оптической системы и осветительной диафрагмы коллиматора формируется пучок света, который направляется на исследуемую область течения и далее через оптическую систему приёмной части на экран. Оптическая система приёмной части отображает на экране некоторую плоскость исследуемой области. Необходимыми условиями являются наличие визуализирующей диафрагмы и оптическое сопряжение исследуемой области течения с экраном.

Прямотеневой метод – метод, характерной особенностью которого является отсутствие оптического сопряжения плоскости изучаемого объекта с плоскостью экрана в отличие от теневого метода.

Интерференционный метод исследования – имеет следующие характерные особенности:

1) использование в интерференционных приборах двух когерентных (способных интерферировать) световых пучков, один из которых (рабочий) просвечивает изучаемое пространство и содержит информацию о потоке, другой (опорный) остаётся невозмущённым и создаёт в плоскости экрана (фотоплёнки) когерентный фон;

2) обязательное оптическое сопряжение изучаемой области потока с экраном. Световой пучок от внешнего монохроматического источника разделяется полупрозрачным зеркалом на два когерентных пучка (опорный и рабочий). При отсутствии возмущений в потоке взаимодействие световых пучков с плоскостью экрана образует интерференционную картину в виде регулярной решётки с чередующимися тёмными и светлыми полосами. Изменения фазы световой волны в рабочем пучке, вызываемые возмущённым потоком, приводят к смещению m интерференционных полос в плоскости экрана.

Ниже рассмотрены известные оптические системы и методы для исследования потоков жидкостей [6].

Анемометрия по изображениям частиц (система PIV – Particle Image Velocimetry) – метод визуализации двумерных векторных полей скоростей потоков жидкости путем цифровой обработки изображений введенных в поток частиц. PIV системы являются достаточно простым методом измерения двух или трех компонент скорости.

Для исследования потока методом PIV необходимо осветить лазером сечение потока, для которого будут построены карты векторов скорости. На выходе лазера устанавливается специальная оптика световой завесы – набор линз, преобразующих лазерный луч в расходящуюся плоскость лазерного излучения, называемую световой завесой.

В поток жидкости вводятся мелкие частицы, которые не вносят в поток возмущений, хорошо следуют по его течению, а также отражают излучение лазера во все стороны. Световой завесой освещается сечение потока. Цифровая камера устанавливается таким образом, чтобы оптическая ось объектива камеры была перпендикулярна плоскости световой завесы.

Лазерная доплеровская анемометрия (системы LDA - Laser Doppler Anemometry) - это бесконтактный точечный способ измерения скоростей жидкостей. Данные системы предназначены для решения задач, связанных с измерением скорости потока.

Фазовая доплеровская анемометрия (системы PDA - Phase Doppler Anemometry) - это бесконтактный точечный способ измерения скоростей жидкостей. PDA системы – бесконтактные системы измерения скорости потока и размеров частиц в потоке.

Метод фазовой доплеровской анемометрии является расширением метода лазерной доплеровской анемометрии. Если использовать более одного фотодетектора, то оба фотодетектора будут регистрировать доплеровский всплеск одной и той же частоты от частицы, прошедшей через точку (объем) измерений, но фазы всплесков будут зависеть от углового расположения фотодетекторов. Измеряемый диаметр частицы прямолинейно зависит от разности фаз сигналов, зарегистрированных фотодетекторами.

Термоанемометрия (системы СТА - Constant Temperature Anemometry) – системы для измерений скорости потока. Принцип термоанемометрических измерений основан на охлаждении маленьких зондов, помещенных в поток.

Температура зонда поддерживается постоянной с помощью специальной мостовой схемы. Термоанемометр выдает напряжение, которое пропорционально мгновенной скорости потока. Выходной сигнал дискретизируется с высоким разрешением, так что скорость точно определяется как во временной, так и в частотной области.

Все вышеперечисленные оптические способы предназначены только для определения скорости потока, либо для определения скорости потока и размеров частиц в потоке, что ограничивает возможности их применения. Узкий список возможных решаемых, с помощью данных методов, задач, а также сложность и дороговизна представленных систем являются существенными недостатками этих методов.

Методы ультразвуковых измерений параметров потока жидкостей [7].

Измерение параметров движения жидкой среды в потоке можно производить, оценивая скорость распространения звука или J , изменения частоты колебаний при ее рассеянии движущейся средой (доплеровский сдвиг). Скорость распространения звука равна сумме скорости звука относительно этой среды и скорости движения самой среды.

Доплеровские измерители можно подразделить на измерители непрерывного и импульсного действия. В доплеровских измерителях параметров потока непрерывного действия используется эффект изменения частоты, отраженной от движущейся среды. Импульсный доплеровский измеритель параметров потока работает в режиме радара. Он излучает короткий импульс, а потом принимает отраженный эхо-сигнал с помощью того же пьезоприёмника с задержкой, зависящей от расстояния до отражающей частицы. С помощью этого метода получают информацию о профиле скорости движения жидкости в поперечном сечении сосуда.

Используются следующие подходы к построению ультразвуковых преобразователей параметров движущегося потока жидкости.

1) *Излучатель и приемник ультразвуковых колебаний располагаются с противоположных сторон трубы или сосуда, через который протекает поток жидкости, или внутри его.*

Время прохождения ультразвукового импульса больше, когда направление его распространения совпадает с направлением скорости, и меньше, когда соответствующие вектора имеют противоположное направление.

2) *Доплеровские измерители параметров потока движущейся жидкости непрерывного действия.*

Измерители параметров потока этого типа можно применять тогда, когда в потоке движущейся жидкости имеются частицы, от которых происходит отражение ультразвуковых волн. Для визуализации или графической регистрации параметров течений используется преобразователь частоты в напряжение (ПЧН). Данный метод имеет свои недостатки. Сигнал доплеровского сдвига частоты не является одночастотным гармоническим сигналом, из-за того, что частицы движутся с различными скоростями и могут хаотично вращаться. Профиль распределения скоростей неоднороден по сечению. При данном подходе тяжело определить направление движения потока, что исправляется только усложнением структуры обработки сигнала.

3) *Импульсные доплеровские измерители параметров потока жидкостей.*

Импульсные доплеровские измерители параметров потока работают в режиме радара. В них пьезоизлучатель возбуждается коротким радиоимпульсом с частотой колебаний f_0 . Радиоимпульсы - это высокочастотные колебания, амплитуда которых отлична от нуля только в течение малых промежутков времени. Пьезопреобразователь в дальнейшем выполняет функцию приемника, воспринимающего сигнал, отраженный от движущихся частиц в потоке. Временная задержка сигнала характеризует расстояние до частицы, от которой произошло отражение. А частота колебаний,

точнее, доплеровский сдвиг частоты - скорость этой частицы. Поэтому, измеряя доплеровский сдвиг частоты, наблюдаемый при разных временных задержках, можно определять распределение скоростей движения частиц по профилю сечения сосуда или трубопровода. При отображении на экране монитора спектр обычно отображается в виде двухмерного графика-доплерограммы.

Длительность излучаемого импульса является важнейшим фактором, определяющим качественные характеристики импульсного доплеровского измерителя параметров потока.

Частота повторения радиоимпульсов ограничена расстоянием до частицы, отражающей ультразвуковую волну. Так как пьезоизлучатель и приемник - одно и то же, то отраженный от самой дальней точки сигнал должен прийти раньше, чем пьезоизлучатель создаст следующий радиоимпульс колебаний.

Данный метод имеет ряд недостатков. Отсутствует возможность измерять большие скорости на большом расстоянии от отражающей волну движущейся частицы. Чем больше расстояние, тем меньшую скорость удастся измерить, и наоборот. Пьезопреобразователи, предназначенные для импульсных доплеровских измерений за счет добавления к ним массивных демпферов, имеют сниженную добротность. Эффективность измерения параметров движения во многом определяется качеством пьезопреобразователей.

Ультразвуковые методы измерений параметров движения в настоящее время считаются самыми эффективными при оценке гемодинамических показателей крови и динамических показателей жидкости в целом (давление, объёмная и линейная скорости).

1.2 Обоснование возможности визуализации потоков жидкости с использованием фазированной решетки

Для того чтобы обосновать возможность визуализации потоков жидкости, возникающих под действием ультразвука с применением устройства на основе фазированных решеток, необходимо выяснить за счет чего происходит

визуализация не только потоков жидкости, но и различных объектов, в ней находящихся.

Ультразвук [3,8] – механические колебания, распространяющиеся в упругой среде, под действием возбуждающего воздействия. При этом частицы среды не перемещаются в направлении распространения волны, а колеблются около своих положений равновесия. Волновое движение является колебательным процессом, при котором в направлении его распространения передается энергия колебаний. Распространение волн в среде имеет пространственный характер. Волны, в зависимости от упругих свойств среды, могут быть различных типов, отличающиеся направлением смещения колеблющихся частиц. Различают продольные и поперечные волны.

Поперечными волнами называются волны, распространяющиеся перпендикулярно колебаниям частиц среды.

Продольные волны - волны, при которых колебания частиц происходят в направлении, совпадающем с распространением волны. Продольный тип волн часто используют в медицинской практике, так как акустические упругие свойства мягких биологических тканей близки к свойствам воды.

Данные о скорости распространения ультразвука в мягких тканях приведены в таблице 1. Особенности распространения продольных акустических волн обеспечивают возможность визуализации потоков жидкости.

В газах и жидкостях распространяются только продольные волны, а в твердых телах продольные и сдвиговые (поперечные). К основным законам распространения ультразвука относятся законы отражения и преломления звука на границе разных сред, дифракции звука и рассеяния звука при наличии препятствий, неоднородностей в среде и неровностей на границе раздела двух сред. Большую роль при этом играет соотношение между длиной волны звука (λ) и геометрическим размером (D) источника звука или препятствия на пути волны. При $D \gg \lambda$, распространение звука вблизи препятствий, как

правило, происходит по законам геометрической акустики, т.е. в соответствии с законами отражения и преломления (рис. 1).

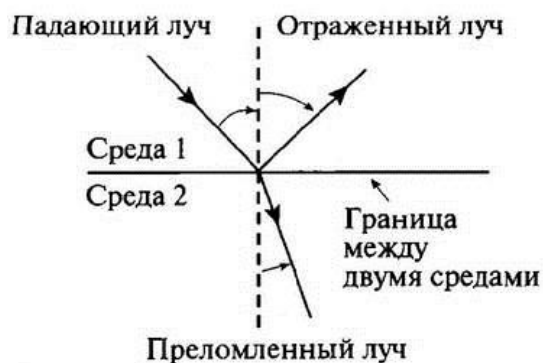


рис. 1 – схема отражения и преломления ультразвуковой волны на границе двух сред.

Таблица 1. Скорость распространения ультразвука в мягких тканях

Ткань	Скорость распространения ультразвука в мм/мкс.
Мозг	1,51
Печень	1,55
Почки	1,56
Мышцы	1,58
Жировая ткань	1,45
Кости	4,08
Кровь	1,57
Мягкие ткани (усреднение)	1,54
Вода (20°C)	1,48
Воздух	0,33

Структура продольной волны представляет собой чередование зон сжатий и разрежений. Длина упругой волны (λ) – расстояние между двумя соседними зонами разрежения или сжатия, показана на рис. 2.

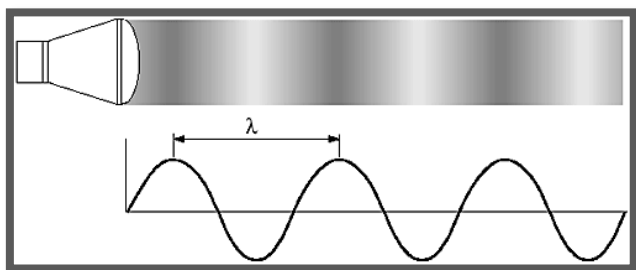


рис.2

Скорость распространения упругой волны в среде определяется следующим выражением:

$$c = f\lambda = \frac{\lambda}{T}; \quad (1)$$

где c – скорость распространения волны, м/с; f – частота колебаний, Гц;
 λ – длина волны, м; T – период колебаний, с

Для излучения и приема ультразвуковых колебаний обычно используют пьезоэлектрические преобразователи, содержащие пластины, изготавливаемые, например, из монокристаллов кварца, сульфата лития, сегнетовой соли, а также из синтетических пьезоматериалов – титана бария, цирконата–титаната свинца и пр.

Сущность метода диагностики, например, биообъектов заключается в следующем: исследуемый участок биотканей и систем организма подвергают воздействию направленного на него ультразвукового пучка. Пройдя через здоровые однородные ткани, он встречает на своем пути препятствия, например, пораженные участки или границы органов, на которых ультразвук полностью или частично отражается, частично поглощаясь. Отражение ультразвука фиксируется электронными приборами.

Если пьезоэлектрическую пластину (пьезоэлемент) сжимать или растягивать в определенном направлении, она поляризуется, и на ее поверхностях появляются заряды, знак которых определяется направлением деформации, а величина – приложенным давлением. Данное явление называется пьезоэлектрическим эффектом. Обратный пьезоэлектрический эффект проявляется в том, что в пьезоэлементе при помещении его в электрическое поле возникают упругие напряжения в соответствии с направлением поля и пропорциональные его напряженности, в результате чего пьезоэлемент деформируется.

Соответственно, если на пьезоэлемент воздействует переменное давление, изменяющееся по определенному непрерывному или импульсному закону, то на поверхностях пьезоэлемента возникает переменное электрическое

напряжение, меняющееся по тому же закону. Соответственно, если к пьезоэлементу приложено переменное электрическое поле, то пьезоэлемент деформируется по тому же закону и в нем возникают с частотой приложенного электрического напряжения вынужденные механические колебания, которые при соприкосновении пьезоэлемента со средой передаются в нее, возбуждая упругую волну. Величина механической энергии, отдаваемой пьезоэлементом в среду, зависит от соотношения так называемых удельных волновых сопротивлений материалов преобразователя и среды, которые в свою очередь определяются произведением плотности материала на скорость распространения в нем ультразвуковой волны.

$$z_0 = \rho c, \quad (2)$$

где z_0 – удельное волновое сопротивление; ρ – плотность среды, кг/м^3 ; c – скорость распространения упругой волны, (м/сек) .

Таким образом, возбужденный приложенным переменным электрическим напряжением пьезоэлемент излучает упругие колебания в окружающую среду и создает в ней волновое поле, которое можно характеризовать рядом величин, основными из которых, кроме указанных выше (длина волны, частота, период колебаний и скорость распространения волны), являются:

- 1) Смещение колеблющихся частиц среды

$$a = A \sin \omega t, \quad (3)$$

где A – амплитуда смещения, м ; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, $\frac{1}{\text{с}}$; t – время, с .

- 2) Колебательная скорость частиц среды, амплитудное значение которой равно

$$V = \omega A, \quad (4)$$

- 3) Плотность энергии упругой волны, т.е. среднее значение полной энергии в единице объема среды

$$W = 2\pi^2 \rho f^2 A^2 = \frac{1}{2} \rho v^2, \quad (5)$$

4) Интенсивность колебаний

$$I = Wc = \frac{1}{2} \rho c v^2, \quad (6)$$

5) Звуковое давление, амплитудное значение которого для плоской волны равно

$$P = \omega \rho c A = \rho c v, \quad (7)$$

Визуализация объектов с использованием методов УЗ-сканирования осуществляется путем зондирования пучков потока в разных плоскостях. В этой связи различают несколько методов УЗ-сканирования.

Самым распространенным УЗ-методом визуализации тканей и органов человека является метод импульсной ультразвуковой эхолокации. Сущность метода состоит в том, что в исследуемый орган излучается короткий УЗ-импульс. Этот импульс, частично отразившись от неодородностей объекта, поступает обратно на приемник и по его параметрам судят о свойствах отражающих структур объекта. Принцип метода поясняется на рис. 3.

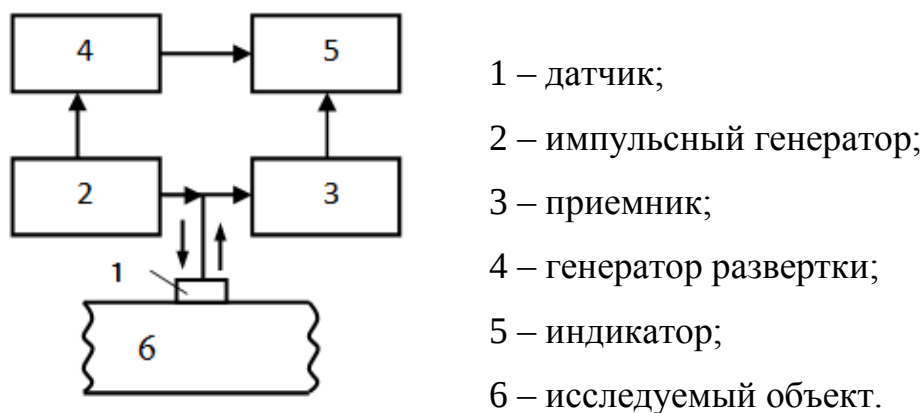


Рис. 3

Датчик (узел УЗ-диагностического прибора), содержащий пьезообразователь электромагнитных колебаний в механические, генерирует короткий УЗ-импульс, который, отразившись от границ раздела тканей и органов или неоднородностей в них, принимается этим датчиком. Благодаря импульсному режиму работы по временной развертке можно фиксировать время прихода сигналов и различать сигналы, приходящие от отражающих границ и структур, которые располагаются на различной глубине зоны обследования.

Принцип УЗ импульсной эхолокации реализуется в ультразвуковых диагностических приборах, предназначенных для визуализации внутренней структуры тканей и органов человека, обнаружения инородных тел, новообразований и другой патологии, определения координат и размеров обследуемых структур и органов.

Данный метод, метод импульсной ультразвуковой эхолокации, может быть использован и для визуализации течений жидкостей по такому же принципу работы.

В эхографии в визуализирующих приборах используют три основных типа разверток, показанных на рис. 4.

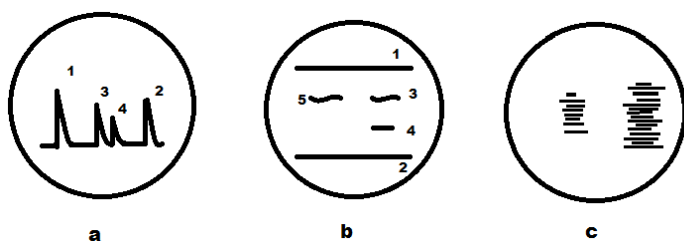


рис. 4

Развертка типа А – горизонтальная развертка, синхронизирована с перемещением УЗ-импульса в исследуемом объекте. Сигнал 1 – зондирующий импульс и передняя граница объекта, сигнал 2 – отражение от тыльной границы объекта, сигналы 3,4 – отражение от неоднородностей объекта.

Развёртка типа В представляет собой поперечное сечение исследуемого объекта. Отклонение луча по вертикали пропорционально времени пробега импульса в объекте, отклонение по горизонтали – перемещению датчика по поверхности. 1 – начальный импульс, 2 – импульс от тыльной стороны, 3,4,5 – импульсы, управляющие яркостью луча.

Развертка типа С представляет собой на экране план участка объекта. Вертикальное и горизонтальное отклонение луча соответствуют перемещению датчика в двух взаимно перпендикулярных направлениях по поверхности объекта. Эхо-сигналы от отражающих границ управляют яркостью луча. Развертки типа В и С позволяют получить большую информацию об объекте,

чем развертка типа А, благодаря тому, что дают двумерное семантическое изображение объекта или его сечения [8].

С помощью одномерного изображения (развертка типа А) могут быть определены координаты границ органов и тканей тела, их конфигурация и величина. Визуализировать гидродинамические потоки будет возможно, используя метод импульсной ультразвуковой эхолокации развертки типа В.

Для осуществления звукового контакта между объектом исследования и датчиком имеет необходимо обеспечить контакт. В нашем случае, для визуализации потоков жидкостей, необходимо между датчиком и средой (жидкостью) создать согласующий слой.

Возникающее под влиянием переменного акустического давления периодическое сжатие и растяжение приводит к значительному ускорению частиц среды. При воздействии УЗ волны на тело (упруго деформируемую среду), плотность которого изменяется по следующему закону:

$$P = P_1 + \delta P, \quad (8)$$

Где P_1 – плотность среды до воздействия УЗ; δP – изменение плотности среды под действием УЗ.

$$\delta P = \Delta \rho * \cos \omega t + kx \quad (9)$$

УЗ волны поражают знакопеременное давление в среде, возникает разница в плотности $\Delta \rho$. В результате появления разности давления возникают волны и происходит уплотнение среды, на которую действует ультразвук.

Визуализация потоков жидкости, возникающих под действием ультразвука, подразумевает собой визуализацию возникающих эквипотенциальных линий с последующим отображением полученной картинки на экране.

Основные характеристики датчиков на фазированной решетке:

n – число активных элементов;

p – расстояние между центрами двух соседних элементов;

g – расстояние между элементами, шаг;

A – апертура, общая длина активных элементов, $A=n \times p$ либо $A=(n-1) \times p + e$. [17]

1.3 УЗ-преобразователь

1.3.1 Структура УЗ-преобразователя

В данном подразделе рассмотрим структуру УЗ-преобразователя, задачей которого является излучение УЗ-лучей для визуализации и прием сигнала, в дальнейшем отображаемого на дисплее. УЗ-преобразователь представляет собой УЗ-датчик. Принцип работы ультразвукового датчика похож на радар и оценивает наличие цели на основе интерпретации отраженного от нее сигнала. Принимая скорость звука за постоянную величину, с помощью ультразвукового датчика определяется и расстояние до объекта.

Основу ультразвукового датчика составляет преобразователь, объединяющий активный элемент и диафрагму. **Преобразователь** работает как передатчик и как приемник. **Активный элемент** генерирует короткий импульс и принимает его эхо от препятствия. Он изготавливается из пьезоэлектрического материала. Между активным элементом и внешней средой необходимо устанавливать согласующий слой, который называется диафрагмой. Диафрагма является контактной поверхностью датчика и определяет его акустические характеристики. Диафрагма должна выполняться из материала, хорошо проводящего ультразвук. К таким материалам относятся титан (Ti), нержавеющая сталь и пр. В данной конструкции в качестве диафрагмы будет использоваться титан. Преобразователь имеет упругое основание, поглощающее вибрации - **демпфер**. Все элементы ультразвукового датчика помещены в корпус с разъемом для подключения.

При получении внешнего сигнала активный элемент заставляет вибрировать диафрагму, которая посылает ультразвуковые импульсы в пространство. При встрече с препятствием импульсы отражаются, возвращаются к преобразователю и создают вибрации активного элемента, с которого снимается электрический сигнал [11].

Тип УЗ-преобразователя (ячейки), составляющий основу разрабатываемого устройства, изображен на рис. 5, такой тип передатчика отлично подходит для излучения УЗ-волн в жидкую среду.

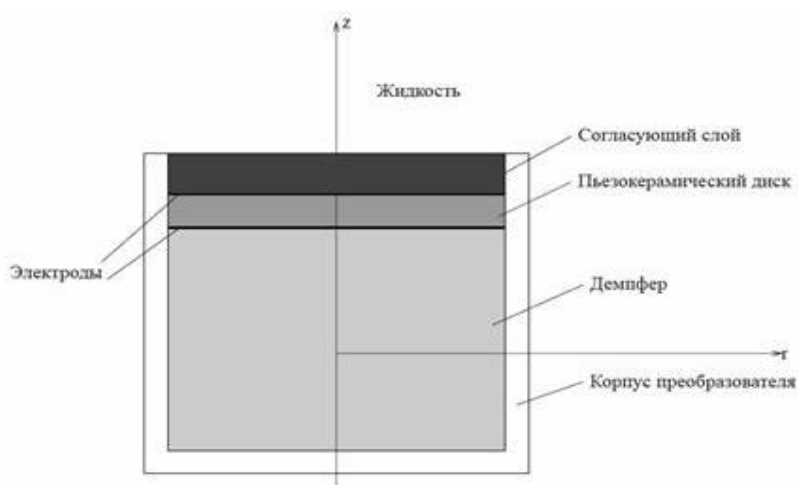


рис. 5

Активным элементом преобразователя является пьезоэлемент - пьезокерамический диск, который находится между **согласующим слоем (диафрагмой)** и **демпфером**. Два электрода на верхней и нижней поверхности диска соединены с **генератором** сигналов [12].

Излучатели, в зависимости от вида потребляемой энергии (механической либо электрической), подразделяются на две основные группы: механические и электромеханические.

Механические излучатели в настоящее время применяются реже, в основном в УЗ-свистках, жидкостных генераторах, гидродинамических излучателях, в газоструйных излучателях и сиренах.

Электромеханические излучатели более устойчивы, чем механические. По принципу действия подразделяются на электродинамические, пьезоэлектрические и магнитострикционные излучатели. В данной установке будут использоваться пьезоэлектрические преобразователи.

1.3.2 Материалы и свойства пьезоэлектрических элементов

Пьезоэлектрические преобразователи основаны на принципе пьезоэлектрического эффекта, открытого французскими учеными Жаком и

Пьером Кюри в 1880г. Пьезоэлектрический эффект возникает у кристаллов кварца, турмалина, сегнетовой соли, хлорита натрия и др.

Пьезоэлектрический эффект может быть прямым и обратным. Прямой пьезоэлектрический эффект – это возникновение зарядов на гранях пластины при механическом воздействии. Прямой эффект используется для приемников УЗ-колебаний. Величина электрической поляризации прямо пропорциональна механическому напряжению:

$$e = dF, \quad (10)$$

где e – величина электрического заряда; d – постоянная величина, - пьезоэлектрический модуль; F – сила.

Обратный пьезоэлектрический эффект – это изменение размеров пластины, вызванное действием электрических зарядов. На обратном эффекте основаны все излучатели ультразвуковых колебаний. Изменение продольных размеров пластинки под действием электрических зарядов пропорционально подводимому электрическому напряжению [14]:

$$\delta S = dU, \quad (11)$$

где δS – изменение продольных размеров пластины; d - пьезоэлектрический модуль, U - подводимое напряжение.

Кварцевые излучатели в настоящее время практически не применяются, так как они очень хрупкие и не выдерживают больших механических нагрузок. Сегнетова соль обладает большим пьезоэффектом. Однако ей свойственны существенные недостатки, ограничивающие ее применение, а именно низкая температура плавления (60°C), при которой исчезают пьезоэлектрические свойства. После нагрева до температуры плавления сегнетова соль не восстанавливает пьезоэлектрические свойства. Сегнетова соль растворима в воде и боится влаги. В 1944 году советским ученым Б. М. Вулом было разработано новое вещество – титанат бария (BaTiO_3) и обнаружены его пьезоэлектрические и сегнетоэлектрические свойства, вследствие чего появились пьезокерамические материалы.

Пьезокерамика не принадлежит к классическим видам керамики, поскольку в ее состав не входит глинистое вещество. Пьезокерамические материалы синтезируются из окислов металлов. Однако применение характерного для керамической технологии приема — обжига при высокой температуре — оправдывает отнесение пьезокерамических материалов к семейству керамики. Размеры кристаллитов обычно от 2 до 100 мкм. Каждый кристаллит представляет собой сегнетоэлектрический кристалл.

В исходном состоянии поляризация пьезокерамических элементов равна нулю, поскольку каждый кристаллит разбит на домены и имеет случайное направление кристаллографической оси. При приложении внешнего электрического поля превышающего определённую величину, называемую коэрцитивным полем, направления поляризации кристаллитов выстраиваются в направлении максимально близком к направлению поляризующего поля. Поляризованная пьезокерамика обладает ярко выраженными пьезоэлектрическими свойствами.

Титанат бария получают искусственным путём, обжимая при высокой температуре смесь минеральных веществ (карбонат бария и двуокись титаната). Пьезоэлектрический эффект у титаната бария в 50 раз больше, чем у кварца, а стоимость его намного меньше. Недостатками BaTiO_3 являются большие механические и диэлектрические потери, приводящие к перегреву, и низкую точку Кюри (90°C).

Затем была разработана пьезокерамика из цирконата-титаната свинца (ЦТС), которая обладает вдвое большим пьезоэффектом, чем пьезокерамика BaTiO_3 . УЗ-преобразователи из ЦТС обладают большей механической прочностью, имеют высокую точку Кюри (около 300°C), могут работать в непрерывном режиме в течение нескольких часов без охлаждения. Благодаря вышеперечисленным свойствам пьезокерамика из ЦТС имеет широкое применение [14,15].

В настоящее время большинство составов пьезокерамики основано на химических соединениях с кристаллической структурой типа перовскита с

формулой ABO_3 (напр., $BaTiO_3$, $PbTiO_3$, $LiNbO_3$) и различных твёрдых растворов на их основе (напр., системы $BaTiO_3 - CaTiO_3$; $BaTiO_3 - CaTiO_3 - CoCO_3$; $NaNbO_3 - KNbO_3$). Особенно широко используются в качестве пьезоэлектриков составы системы цирконата-титаната свинца (ЦТС или PZT) $PbTiO_3 - PbZrO_3$. В России разработаны и производятся следующие марки пьезокерамик: ЦТС-19, ЦТС-36 (ПКР-1), ЦТС-21, ПКР-61 [15].

Пьезоэлектрический преобразователь – обратимый электромеханический или электроакустический преобразователь, действие которого основано на пьезоэффекте. Основная часть состоит из отдельных частей или объединенных в группы электрически и механически связанных между собой пьезоэлементов, которые могут быть конструктивно связаны с пассивными механическими элементами (накладками, концентраторами, пластинами, мембранами и т.д.). Применяются в различных областях техники (гидроакустика, виброметрия, акустоэлектроника), что определяет разнообразие конструкции, применяемых материалов, частотный диапазон (единицы Гц-ГГц), мощность, и т.п.

В низкочастотной области в качестве активного материала применяется пьезокерамика, в высокочастотной области – пьезокристаллы и пьезополупроводники.

В УЗ технологии применяются в основном стержневые пьезоэлектрические преобразователи с накладками, концентраторами и мембранами [16].

1.4 Выбор материала для стенок конструкции

Кварцевое стекло - однокомпонентное стекло из чистого оксида кремния (SiO_2), получаемое плавлением природных разновидностей кремнезёма - горного хрусталя, жильного кварца и кварцевого песка, а также синтетической двуокиси кремния.

Различают два вида промышленного кварцевого стекла: прозрачное (оптическое и техническое) и непрозрачное. Непрозрачность кварцевому стеклу придает большое количество распределённых в нём мелких газовых пузырьков

(диаметром от 0,03 до 0,3 мкм), рассеивающих свет. Оптическое прозрачное кварцевое стекло, получаемое плавлением горного хрусталя, совершенно однородно, не содержит видимых газовых пузырьков.

Кварцевое стекло широко применяется в электротехнике, оптике и медицине. В частности, его применяют для изготовления оптических приборов, изоляторов и т.д. Кварцевое стекло обладает следующими свойствами:

- 1) наименьший среди стёкол на основе SiO_2 показатель преломления ($n_e = 1,46008$) и наибольшее светопропускание;
- 2) высокая термическая стойкость, очень низкий коэффициент температурного расширения и теплопроводности;
- 3) хороший высокочастотный диэлектрик [9].

Все эти свойства позволяют использовать кварцевое стекло в качестве стенок корпуса нашей установки, поскольку будет отсутствовать искажение излучающего воздействия. Поэтому стенки установки было принято выполнить из оптического прозрачного кварцевого стекла.

2 Объект и методы исследования

В период прохождения производственной практики было получено техническое задание, находящееся в рамках развития комплекса НИОКР для разработки метода УЗ-визуализации потоков лекарственных растворов в объеме раневой полости, инициируемых низкочастотным ультразвуком в процессе УЗ-обработки инфицированной раны.

В процессе выполнения работы выполняются все поставленные задачи, а именно: разработка макета конструкции, структурная схема и принципиальная электрическая схема устройства на основе фазированной решетки.

На основе обзора литературы был обоснован выбор методов и способов для возможности визуализировать необходимые потоки.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью выпускной квалификационной работы является разработка устройства на основе матричной фазированной решетки для визуализации объектов и гидродинамических потоков. Перспективность любого научного исследования определяется коммерческой ценностью данной разработки. Коммерческая привлекательность является важным критерием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет определить цену разработке, спрос на рынке, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

В данном разделе необходимо определить продолжительность выполнения работ, расчет трудовых затрат на выполнение проекта. Для уменьшения затрат следует организовать эффективное производство, что невозможно без экономических обоснований всех инженерных решений.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Потенциальные потребители результатов исследования

Разрабатываемое устройство для визуализации на основе фазированной решетки может применяться в самых разнообразных областях, не ограничиваясь использованием в медицине. С помощью матричной фазированной решетки возможно будет определить точное местоположение объекта, находящегося в пространстве конструкции или точное распределение потока во времени и в пространстве. Прямой задачей является визуализировать потоки от ультразвукового волновода-инструмента.

Разрабатываемое устройство представляет собой конструкцию в форме прямоугольного параллелепипеда, на дне которого установлена матричная фазированная решетка, с помощью которой происходит визуализация всего, что помещено в объем параллелепипеда. Установка достаточно надежная, удобная, безопасная и не имеет сложностей при эксплуатации.

Не смотря на то, что в современном мире существует множество способов визуализации, визуализация потоков с помощью фазированной решетки является достаточно точной и высокоскоростной.

SWOT анализ

SWOT анализ представляет собой комплексный анализ научно - исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. С помощью него проведем анализ сильных и слабых сторон НИР, возможностей и угроз. SWOT анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

SWOT- анализ представлен в Таблице 1.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 2, 3, 4, 5.

Таблица 1 - SWOT- анализ НИР

	<u>Сильные стороны:</u> С1. Наличие финансирования от научно-производственного предприятия. С2. Высокая точность визуализации. С3. Высокая скорость визуализации. С4. Широкая область применения. С5. Удобство эксплуатации.	<u>Слабые стороны:</u> Сл1. Очень большой объём передаваемых данных. Сл2. Необходимо подавать питание отдельно на каждый элемент фазированной решетки. Сл3. Отсутствие прототипа научной разработки.
<u>Возможности:</u> В1. Повышение стоимости конкурентных разработок. В2. Усовершенствование устройства. В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.	<u>Сильные стороны и возможности:</u> 1) Наличие финансирования и использование инновационной структуры ТПУ позволит усовершенствовать устройство.	<u>Слабые стороны и возможности:</u> 1) Использовать новые технологии для возможности обработать большой объем данных.
<u>Угрозы:</u> У1. Появление новых технологий. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.	<u>Сильные стороны и угрозы:</u> 1) Финансирование от научно-производственного предприятия может покрыть несвоевременное финансовое обеспечение со стороны государства. 2) Удобство эксплуатации повышает конкурентоспособность; 3) Высокая точность и скорость визуализации повышает конкурентоспособность;	<u>Слабые стороны и угрозы:</u> 1) Большое количество конкурентов, способных выполнять те же функции. 2) Большое количество необходимых ресурсов для производства устройства.

Таблица 2 - Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	-	-	-	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C2C3C4C5, B2C1C2C3C4C5, B3C5.

Таблица 3 - Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	+	-
	B2	+	+	+
	B3	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл2, B2Сл1Сл2Сл3, B3Сл1Сл2Сл3.

Таблица 4 - Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	+	+	+	+
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1C2C3C4C5, У2C1.

Таблица 5 - Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	-	+	-
	У3	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2Сл3.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое

количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Составим морфологическую матрицу для разрабатываемого устройства для визуализации и представим ее в Таблице 6.

Таблица 6 -Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Размер фазированной решетки (количество преобразователей ,шт*шт)	3*9	4*6	5*5
Б. Рабочая частота, кГц	500	550	450
В.Размеры конструкции (Д*Ш*В), см	16*24*20	15*40*20	20*20*20
Г. Источник элекрического сигнала	УЗ генератор	микроконтроллер	
Д. Материал стенок контструкции	кварцевое стекло	прозрачная пластмасса	обычное стекло

Выберем три варианта решения технической задачи, поставленной в работе:

- 1) Исп1: А3В1В3Г1Д1
- 2) Исп2: А1Б2В2Г2Д3
- 3) Исп3: А2Б1В1Г2Д1

4.3 Планирование и формирование бюджета научно-исследовательской работы

Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составим перечень этапов и работ по выполнению научно-исследовательской работы (НИР), проведем распределение исполнителей по видам работ.

Система планирования основана на графическом представлении определенного комплекса работ, отражающих их последовательность, взаимосвязь и длительность. Настоящая работа имеет малый штат исполнителей – два (руководитель и инженер) и проводится с малыми затратами.

Для определения затрат на проведение НИР необходимо разбить всю работу на этапы, количество и содержание которых определяется спецификой темы, а также оригинальностью ее разработки. Объективный экономический расчет позволяет равномерно распределить время работы и нагрузку на исполнителей, а также увеличить эффективность работ.

Планирование работы является начальным этапом при проведении технико-экономического обоснования НИР. На этапе планирования составляется полный перечень проводимых работ, определяются исполнители каждого этапа, устанавливается продолжительность работ в рабочих днях, строится линейный график выполнения работ. Это способствует рациональному распределению времени и труда, облегчает расчет трудоемкости выполнения работ при проектировании данного прибора.

Таблица 7 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Разработка технического задания (ТЗ)	1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель
	2	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Руководитель Инженер
2. Выбор направления исследования	3	Подбор и изучение материалов по тематике	Инженер
	4	Разработка календарного плана проведения работ по теме	Руководитель Инженер
	5	Обсуждение литературы	Руководитель Инженер
	6	Обзор патентной базы	Инженер

Продолжение...			
Основные этапы	№ Раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
2. Теоретические и экспериментальные исследования	7	Разработка структурной схемы	Руководитель Инженер
	8	Разработка принципиальной схемы	Руководитель Инженер
	9	Расчет параметров схемы	Инженер
	10	Разработка конструкции устройства	Руководитель Инженер
3.Проектирование устройства	11	Проектирование фазированной решетки устройства	Руководитель Инженер
	12	Анализ результатов (подведение итогов)	Руководитель Инженер
4.Оформление документации	13	Оформление графического материала	Инженер
	14	Составление расчётно-пояснительной записки	Инженер

Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет трудоемкости работ составляет важную часть экономических расчетов, так как трудовые затраты зачастую определяют стоимость всей НИР и определяют сроки выполнения разработки.

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \text{ чел.-дн.},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дни.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дни.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты представим в Таблице 8.

Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{, кал.дн.}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность одной работы в рабочих днях;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{ке}}}{T_{\text{ке}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}},$$

где: $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней году (365).

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (104).

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году (14).

Данные приведены для пятидневной рабочей недели.

$$k = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1.48$$

Результаты представим в таблице 8.

По данным Таблицы 8 построим линейный график проведения НИР, на котором покажем последовательность проводимых работ и сроки выполнения этапов. Календарный план-график составляем по первому исполнению, так как оно занимает меньше времени и является оптимальным для выполнения дипломной работы.

Календарный план-график представим в таблице 9.

Таблица 8 - Временные показатели проведения НИР

Номер работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}					
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			t_{oji} , чел-дни										
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3	
2	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель Инженер	1	1	1	2	2	2	
3	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Инженер	10	10	10	15	15	15	
4	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель Инженер	1	1	1	2	2	2	
5	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель Инженер	1	1	1	2	2	2	
6	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Инженер	2	2	2	3	3	3	
7	1	2	2	2	3	3	1,4	2,4	2,4	Руководитель Инженер	1	2	2	2	3	3	
8	5	6	6	8	10	10	6,2	7,6	7,6	Руководитель Инженер	3	4	4	5	6	6	
9	5	6	6	8	10	10	6,2	7,6	7,6	Инженер	7	8	8	10	11	11	
10	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель Инженер	1	1	1	2	2	2	
11	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Руководитель Инженер	2	2	2	3	3	3	
12	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель Инженер	1	1	1	2	2	2	
13	5	6	6	8	10	10	6,2	7,6	7,6	Инженер	7	8	8	10	11	11	
14	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Инженер	10	10	10	15	15	15	

Таблица 9 - Календарный план-график проведения НИР

№ раб от	Исполнители	T _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Руководитель	3	■											
2	Руководитель Инженер	2	■	■										
3	Инженер	15		■	■									
4	Руководитель Инженер	2			■	■								
5	Руководитель Инженер	2				■	■							
6	Инженер	3					■	■						
7	Руководитель Инженер	2					■	■						
8	Руководитель Инженер	5					■	■	■					
9	Инженер	10							■	■				
10	Руководитель Инженер	2							■	■				
11	Руководитель Инженер	3								■	■			
12	Руководитель Инженер	2									■	■		
13	Инженер	10										■	■	
14	Инженер	15											■	■



- инженер



- руководитель

Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В

процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 10.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 10 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Z_m), руб.
Ручка	шт.	3	30	105
Интернет	Безлимит. тариф на 1 месяц	3	200	600
Тетрадь	шт.	4	40	190
Итого:				895

Затраты на материалы для выполнения НИР по каждому из трёх исполнений одинаковы. Поэтому расчеты выполнены один раз для первого, второго и третьего исполнений совместно.

Основная заработная плата исполнителей темы

Заработная плата основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} * М}{F_{\text{д}}},$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $М = 11,2$ месяца для пятидневной рабочей недели.

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 11 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней: - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	32	32
Действительный годовой фонд рабочего времени ($F_{\text{д}}$)	216	216

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} * 1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}} * k_{\text{р}},$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 12. Расчет основной заработной пралы выполнен для трёх исполнений (И1, И2, И3)

Таблица 12 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , тыс. руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , тыс. руб.	З _{дн} , тыс. руб.	Т _р , раб. дн.			З _{осн} , тыс. руб.		
							И1	И2	И3	И1	И2	И3
Руководитель	33,163	0,3	0,5	1,3	77,601	4,024	13	15	15	52,312	60,36	60,36
Дипломник (Инженер)	6,279	0,3	0,5	1,3	14,693	0,762	47	51	51	35,814	38,872	38,872
Итого З _{осн}										88,124	99,232	99,232

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Тогда для руководителя это составляет:

$$З_{\text{доп}} (\text{И1}) = 0,12 * 52,312 = 6,254 \text{ тыс. руб.},$$

$$З_{\text{доп}} (\text{И2}) = З_{\text{доп}} (\text{И3}) = 0,12 * 60,36 = 7,243 \text{ тыс. руб.},$$

Для дипломника (инженера):

$$З_{\text{доп}} (\text{И1}) = 0,12 * 35,814 = 4,298 \text{ тыс.руб.},$$

$$З_{\text{доп}} (\text{И2}) = З_{\text{доп}} (\text{И3}) = 0,12 * 38,872 = 4,665 \text{ тыс. руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%

Таблица 13 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб			Дополнительная заработная плата, тыс. руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	52,312	60,36	60,36	6,254	7,243	7,243
Дипломник	35,814	38,872	38,872	4,298	4,665	4,665
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	26,700					
Исполнение 2	30,146					
Исполнение 3	30,146					

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где: $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таким образом, наибольшие накладные расходы равны:

$$З_{\text{накл}}(\text{И1}) = 20187 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{накл}}(\text{И2}) = З_{\text{накл}}(\text{И3}) = 22731 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по трём вариантам исполнения одинаков и приведен в табл. 10.

Таблица 14 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НТИ	895	895	895	
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	88124	99232	99232	
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10450	11800	11800	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	26700	30146	30146	
5. Накладные расходы	20187	22731	22731	16% от суммы 1-4
6. Бюджет затрат НТИ	146356	164804	164804	Сумма ст. 1-5

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимости-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{pi}} = a_i * b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 15 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
4. Энергосбережение	0,20	4	4	4
5. Надежность	0,25	5	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 4,8;$$

$$I_{p-исп2} = 3,8;$$

$$I_{p-исп3} = 3,95.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p1}}{I_{финр1}}, I_{исп2} = \frac{I_{p2}}{I_{финр2}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}$$

Таблица 16 - Сравнительная эффективность разработки

п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки $I_{финр}^{исп.i}$	0,89	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки (I_{pi})	4,8	3,8	3,98
3	Интегральный показатель эффективности ($I_{исп}$)	5,39	3,8	3,98
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения ($\mathcal{E}_{cp}$)	1,4 1,35	0,7 0,9	0,7 1,1

Проведя сравнение значений интегральных показателей эффективности, можно выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Таким вариантом исполнения является первый вариант.